

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-275926

(43)Date of publication of application : 09.10.2001

(51)Int.Cl.

A61B 1/00
B25J 7/00

(21)Application number : 2000-099655

(71)Applicant : NGU WAN SHIN

(22)Date of filing : 31.03.2000

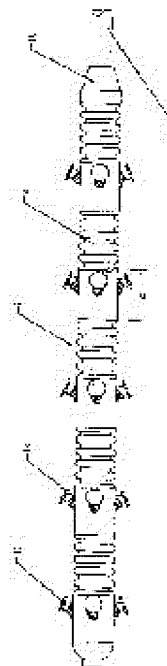
(72)Inventor : NG WAN SHIN
FII SOO J LEWIS
SOU CHOUN FRANCIS

(54) ROBOTIC ENDOSCOPE FOR PERFORMING ENDOSCOPIC EXAMINATION AND AUTONOMOUS FUNCTION TYPE PIPE ROBOT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To disclose a robotic endoscope for performing the procedure of an endoscopic examination in tubular organs, and also, disclose an autonomously functional type pipe robot.

SOLUTION: This robotic endoscope for performing the procedure of an endoscopic examination includes a plurality of segments (2), a plurality of flexible linear actuators (11), a central cavity (8) and a network of branching channels (13). In this case, (a) the plurality of segments (2) are connected to each other with a plurality of flexible articulated joints (3), and have a distal end section. (b) The plurality of flexible linear actuators (11) are attached skewed sideways on the circumferences around respective segments (2) to the longitudinal axis and the diametrical axis of a robot (1). (c) The central cavity (8) which runs through the robot in the longitudinal direction houses a plurality of optical fibers (not shown in the figure), a water/air hose (5), a channel means (6) and a plurality of electric wires (not shown in the figure) which are connected to an imaging means (7) attached to the distal end section of the robot (1). (d) The network of branching channels (13) are related to the distribution of pressure to the linear actuators (11).



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-275926
(P2001-275926A)

(43) 公開日 平成13年10月9日 (2001.10.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
A 6 1 B 1/00	3 0 0 3 1 0	A 6 1 B 1/00	3 0 0 A 3 F 0 6 0 3 1 0 A 4 C 0 6 1
B 2 5 J 7/00		B 2 5 J 7/00	

審査請求 未請求 請求項の数19 O L 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2000-99655 (P2000-99655)

(22) 出願日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(71) 出願人 597043718

ング、ワン シン

シンガポール国 2264 シンガポール ブ
ロック 827 ジュロン ウエスト スト
リート 81 ナンバー06-278

(72) 発明者 ング、ワン シン

シンガポール国, 640827 シンガポール,
ブロック 827, ジュロン ウエスト ス
トリート 81, #06-278

(74) 代理人 100073461

弁理士 松本 武彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内視鏡検査実施用ロボット化内視鏡および独立機能型パイプロボット

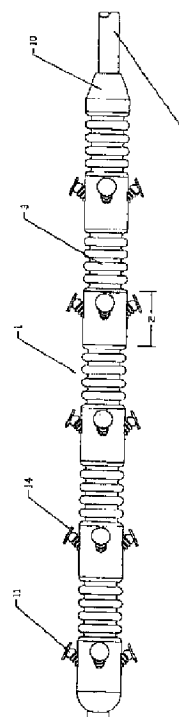
(57) 【要約】

【課題】 管状器官での内視鏡検査の処置を実施するためのロボット化内視鏡を開示する。また独立機能型パイプロボットも開示する。

【解決手段】 (a) フレキシブルな複数の節付きジョイント (3) によって互いを繋がれ、かつ末端部を有する複数のセグメント (2) と、 (b) 各セグメント

(2) の周りの円周上に、ロボット (1) の縦軸および直径軸に対して斜め横向きに取り付けられている、複数のフレキシブル直線状アクチュエーター (11) と、

(c) 複数の光ファイバー (図示せず) と、水/空気用ホース (5) と、チャンネル手段 (6) と、前記ロボット (1) の末端部に取り付けられた画像化手段 (7) に連結している複数の電気ワイヤー (図示せず) とを収納している、前記ロボットの中を縦方向に通っている中央の空洞 (8) と、 (d) 前記直線アクチュエーター (11) への圧力の配分に関する支流チャンネル (13) のネットワークを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) フレキシブルな複数の節付き (articulated) ジョイント (3) によって互いに繋がれていて、末端部を有する複数のセグメント (segment) (2) と、

(b) 各セグメント (2) の周りの円周上に、ロボット (1) の縦軸および直径軸に対して斜め横向きに取り付けられている、複数のフレキシブルな直線上アクチュエーター (actuator) (11) と、

(c) 複数の光ファイバー (図示せず) と、水/空気用ホース (5) と、チャンネル手段 (instrumentation channel) (6) と、ロボット (1) の末端部に取り付けられた画像化手段 (imaging means) (7) に連結している複数の電気ワイヤー (図示せず) とを収納し、ロボット (1) の中を縦方向に通っている中央の空洞 (8) と、

(d) 直線状アクチュエーター (11) への圧力の供給のための支流チャンネル (tributary channels) (13) のネットワークと、を含んでいる、管状器官において内視鏡検査の処置を実施するためのロボット化内視鏡 (robotic endoscope) 。

【請求項2】 セグメントどおしを繋いでいる節付きジョイントが、種々のカーブにロボットを順応させるための、3方向の受動的な自由度 (three passive degrees of freedom) をもっている、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項3】 複数の直線状アクチュエーターがゴム製ベロー (bellows) である、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項4】 直線状アクチュエーターが空気圧または水圧で作動する、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項5】 スピードや、重力に逆らって推進する能力や、複雑な屈曲部に通って推進する能力に関する最適条件について、複数の進み方が与えられる、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項6】 セグメントの末端部が電気モーターに接続されたリードワイヤー (lead wires) によって操縦される、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項7】 セグメントの末端部が複数の形状記憶合金ワイヤーに接続されたリードワイヤーによって操縦される、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項8】 直線状アクチュエーターが、ベローの先端に当てものをされている、請求項1または3に記載のロボット化内視鏡。

【請求項9】 画像化手段が電化結合素子型カメラ (CCDカメラ) (charge coupled camera) である、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項10】 セグメントが円筒形である、請求項1に記載のロボット化内視鏡。

【請求項11】 (a) フレキシブルな複数の節付きジョイントによって互いに繋がれていて、かつ末端部を有する複数のセグメントと、

(b) 各セグメントの周りの円周上に、ロボットの縦軸に対して斜め横向きに取り付けられており、電気 (または空気圧または水圧) によって作動する、複数の直線状アクチュエーターと、

(c) 駆動源と、制御手段と、独立機能のための送信機とを収納している、ロボットの中を縦に通っている、中央の空洞と、

を含んでいる、小さな直径のパイプ内を前進することができる、独立機能型パイプロボット (autonomous pipe robot) 。

【請求項12】 セグメントを繋ぐ複数の節付きジョイントが、異なるカーブにロボットを順応させるための3つの受動的な自由度をもっている、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項13】 スピードや、重力に逆らって推進する能力や、複雑な屈曲部において推進する能力に関する最適条件について、複数の進み方が与えられる、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項14】 セグメントの末端部が小型モーターによって操縦される、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項15】 セグメントの末端部が複数の形状記憶合金ワイヤーによって操縦される、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項16】 画像化手段がセグメントの末端部に配されている、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項17】 画像化手段が電荷結合素子型カメラ (CCDカメラ) である、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項18】 後方への推進を容易にするため、直線状アクチュエーターが反対方向へ旋回可能である、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【請求項19】 セグメントが堅い円筒形状である、請求項11に記載の独立機能型パイプロボット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、一般に、検査および内視鏡処置の実施のためのロボット化内視鏡に関し、特に、剛性または弾性の管状壁を有する直線状あるいは屈曲状の延長された通路内で進行可能な、自己推進型チュープロボット (a self-propelled tubular robot) および独立機能型パイプロボットに関する。

【0002】

【従来の技術】 内科医の診断とはかけ離れた、人体器官内部の検査または診断にとって、内視鏡は有用な医療装

置である。大腸内視鏡検査 (colonoscopy) のような内視鏡診断は、非常に過酷な技術を要する処置である。最小の不快感にしつつさらに徹底的な診断を行いながら、曲がりくねった結腸周辺で2m近い長さのフレキシブルチューブをうまく取り扱うことは、医科的技巧である。熟練の内視鏡検査技師らのほとんどは、同様の内視鏡検査の技術を用いる。結腸を膨張させフレキシブルチューブの挿入を補助するために、空気が結腸内に入れられる。内壁に痛みや穴を引き起こし得る、結腸壁あるいは腸間膜の引き伸ばしを避けるために、装置にかかる挿入の力は穏やかでなければならない。光ファイバーやCCDカメラによる内視鏡検査技師に利用性のあるダイレクトな内視鏡画像のもとで、内視鏡検査技師の手での押し込み動作によって、大腸内視鏡は盲腸のほうへ進められる。見ずに実施する操作はほとんどあるいは全くないため、内腔 (lumen) は常に視界内に保たれるべきである。種々の「挿入および排出」操作は、できるだけ大腸内視鏡にループ (loops) がいないよう保ちながら、大腸内視鏡上の結腸を「アコーディオン (accordion)」のようにして行われる。しかしながら、押し込み動作が唯一の関連動作ではない。大腸内視鏡の末端部を引いたり、曲げたり、くねらせて進めるために、かなりの技術が要求される。患者の腹部は、ループ形成や不快感を最小限にするために圧迫されるかも知れない。複雑な結腸では、鋭く曲がっているS字状と下向き (sigmoid/descending) の結腸接合部を通過するために、(S状結腸でのアルファループ (alpha loop) 減少させるような) 特別な巧妙な操作がなされる。また、大腸内視鏡のねじり (torquing) もそのようなシナリオ (a scenario) では要求される。

【0003】粘膜の詳細な診断は、大腸内視鏡が挿入される時と、盲腸からそれがゆっくりと取り去られるときの両方で実施される。大腸内視鏡がループのないよう保たれば、先端はうまく対応し、診断は容易化される。これは (ポリプ切除 (polypectomy) のような) 治療処置が考えられている場合にはとりわけ当てはまるのであるが、なぜならそれは、大腸内視鏡の大きく余分なループは、先端のコントロールを非常に困難にし得るからである。時には、スコープ (scope) のシャフト上で結腸にしわをつけるため、内視鏡技師はスコープを「揺すぶる」ことがある。これは、スコープの上下または左右の急な動きを含む。揺さぶりの主な目的は、体内でのチューブ挿入部分を短くするためである。これにより、チューブはまっすぐに保たれる。

【0004】結腸での多数の屈曲部周辺での、大腸内視鏡先端の操作における基本動作は、長年の実務と訓練を必要とする。操作の間、先端が結腸壁にぶつかっている際の「レッドアウト (red-out)」の状態、または、さらに悪い、先端が結腸壁を引き伸ばしている際の

「ホワイトアウト (white-out)」という状態になると、内腔は外科医の視界から消えてしまう。これが起こると、経験のない内視鏡検査技師は、方向性失い、内腔を見つけることが困難になる。その結果、結腸に穴が生じるかもしれない。さらに、スコープの不意な動きは、結腸の内壁の引き裂きをもたらし、次々と多大な出血にいたるかもしれない。また、スコープを押し入れることが結果として末端部の推進にならないこともある。むしろ、ループが形成されると、結果として結腸壁の過剰膨張につながる。また従来の大腸内視鏡は、片手だけを挿入チューブを押し引きする状態としておきながら、のこり片手で制御装置を持つておくということも、内視鏡検査技師に要求している。挿入チューブの過剰なねじれは、結果として、さらに事を複雑にするループ形成につながる。延長された時間でも制御装置を保持しておくということは、扱いにくいというほかに、内視鏡検査技師にとって疲労になる。

【0005】大腸内視鏡検査の処置は、内視鏡検査技師の技量に非常に多くを依存する。より経験豊富な内視鏡検査技師は、より徹底的でより痛みの少ない検査を、経験の浅い内視鏡検査技師よりもより短時間で実施するだろう。通常、熟練の内視鏡検査技師は、「正常」な結腸の盲腸のところまで大腸内視鏡を正しく動かすことにほとんど問題を持っていない。しかしながら、「問題のある」結腸の中を通して大腸内視鏡を進めていくのは困難である。これは、非常に鋭角あるいは固定されている屈曲部に出くわしたときに起こる。さらに、このような箇所での大腸内視鏡の押し込みは、末梢結腸の内壁を膨張させる。以前の手術による結腸の形状や輪郭のゆがみは、この問題を助長する。末端部があちこち動く機構を有する自己推進型のロボット化内視鏡は、在来型の大腸内視鏡の問題であった押し込み形式とは異なり、移動での多くの問題を解決するだろう。

【0006】化学および石油産業では、パイプシステム (piping systems) 内の特性管理や検査活動は、浄化や、分解、およびメンテナンス活動という点で臨界的状況である。大きいパイプシステムの検査に対する現行の技術は存在する。しかしながら、小さな直径のパイプシステムを正確に特性化し検査する能力はほとんどない。直径の小さなパイプ (3インチ以下の直径) は、一般に、お互いを、水平および垂直のパイプからなる3次元構造を形成するように接続されている。そのようなパイプシステムを検査することは、重力に逆らって推進しうる能力だけでなく、鋭角な屈曲部をあちこち動き得るということを、自己推進型のインパイプロボット (in-pipe robot) に要求する。そのロボットの目的は、パイプ内を進む際に、パイプの内壁の画像を送り返すことである。またそれは、それが2つあるいはそれ以上の選ぶべきルートを有する接合点に到達した際、所望の方向に進むこともできるに違いないの

である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 剛性または弾性の管状壁を有する長く伸びた通路内で進行可能で、そこで複数の節付きジョイントが人体の器官に見られる種々の屈曲部やカーブにロボットを順応させている、ロボット化内視鏡および独立機能型パイプロボットを供給することが、本発明の目的である。複数のフレキシブル直線状アクチュエーターが各セグメントの周りの円周上に取り付けられており、これらのアクチュエーターが空気圧もしくは水圧によって作動する、ロボット化内視鏡および独立機能型パイプロボットを供給することが、本発明のさらなる別の目的である。

【0008】 コントロール手段が、直線状アクチュエーターの動きにより順序をコントロールするというのである、ロボット化内視鏡および独立機能型パイプロボットを供給することが、本発明の別の目的である。ロボットが小さな直径のパイプ内で進行可能である、ロボット化内視鏡および独立機能型パイプロボットを供給することが、本発明の別の目的である。本発明の、これらおよび他の特徴、外観、そして効果は、以下の説明、添付の請求項、添付の図面に関しての、さらなる理解になるであろう。

【0009】

【課題を解決するための手段】 したがって、本発明は、管状の器官内で内視鏡検査の処置を実施するためのロボット化内視鏡に関するものであり、(a) 複数のフレキシブルな節付きジョイントにより互いを接合し、末端部を有する複数のセグメントと、(b) 各セグメントの周りの円周上に、前記ロボットの縦(直径)軸に関して斜め横向きに取り付けられている、複数のフレキシブルな直線状アクチュエーターと、(c) 複数の光ファイバーと、水/空気用ホースと、チャンネル器具と、ロボットの末端部に取り付けられた画像化手段に連結している複数の電気用ワイヤーとを収納し、前記ロボットの中を縦方向に通っている中央の空洞と、(d) 前記直線状アクチュエーターへの圧力の配給のための支流チャンネルネットワークとを含むものである。

【0010】

【発明の実施の形態】 図1には、剛性または弾性の管状壁を有する長く伸びた通路内で進行可能な、チューブ状ロボット(1)が示されている。そのロボット(1)は、複数のセグメント(2)を含み、それらは互いをフレキシブルな複数の節付きジョイント(3)によって接続し、末端部を持っている。その節付きジョイント

(3)は、ロボット(1)に、人の器官に見られる種々の屈曲部やカーブに順応することを与えている。複数の中空ゴム製ベロー(11)は、3方向の回転の自由度(three degrees of rotational freedom)と、一定の平行移動の自由度

を、そのジョイント(3)に持たせるために使われている。

【0011】 図2において、セグメント(2)の末端部は、光源(4)としての複数の光ファイバー(図示せず)と、水/空気用の孔(5)と、チャンネル手段(6)と、超コンパクトの電化結合素子型カメラ(CCDカメラ)(charge coupled camera)のような画像化手段(7)とを収納している。これらの装置(4, 6, 7)に連結されているワイヤーおよびチューニング(tunings)(図示せず)は、ロボット(1)の中央空洞(8)内を通っている。これらのワイヤーおよびチューニングは、最後部のセグメント(10)に接続している尾状物(図示せず)として共に束ねられ、ロボット(1)から出ている。

【0012】 図3において、各セグメント(2)の周りの円周上に取り付けられているのは、複数のフレキシブルな直線状アクチュエーター(11)である。本発明においては、複数の収縮可能なゴム製ベロー(11)が、直線状アクチュエーターとして用いられている。これらのアクチュエーター(11)は、空気もしくは水の圧力によって動かされる。そのアクチュエーター(11)は金属製でないので、人の器官のデリケートな内壁にはダメージを与えないだろう。これらのゴム製ベロー(11)は、セグメント(2)にある空洞(12)の、基部に近い方の端付近にに取り付けられている。ベロー(11)は、セグメント(2)に、かすがい等でしめられているかもしくは接着されている。それらは、(ロボット)主本体から放射状に向いている末端部をもち、(ロボット)本体の縦軸に対して斜め横向きに配されている。1つのセグメント(2)にある全てのベロー(11)は、同一の圧力ラインに繋がれており、この圧力ラインは、ロボット(1)の主本体の中央空洞(8)内を通り、尾状部(9)を経由して出ている。圧力は、セグメント(2)にある複数の支流圧力チャンネル(13)を経由して、ベロー(11)に均等に配分される。外部からの高い圧力がチャンネル(13)に導入されると、接続されたベロー(11)は縦方向に伸びる。反対に、低い圧力(大気圧以下)が導入されると、ベロー(11)はセグメント(2)にある空洞(12)内に縮む。推進力は、ベロー(11)が器官の内壁を押すように伸びる時につくられる。ベロー(11)は放射状にフレキシブルであるため、器官壁に接触する時、ロボット(1)の主本体のほうに曲がるかもしれない。さらなるベロー(11)の伸びが、前方への推進力を生み続けるであろう。この伸縮機構は、デリケートな内壁の破裂や開口(perforation)に対する防御である。接触点でのすべりを防ぐため、ベロー(11)は、接触面積を増やすために、(14)に示すように当て物をされている。

【0013】 図6は、ベロー(11)が伸ばされたり縮

められたりするという順序をコントロールする、制御手段(60)のフローチャートを示している。1つのセグメント(2)にある、それぞれのベロー(11)の組、あるいはそれぞれの個々のベロー(11)でさえ、独立に動かされる。本発明においては、使用者は、デスクトップPC(62)でコンピュータプログラムを起動させることにより開発された、画像の接続機(graphical user interface)を介して、ロボット(1)を操作する。このプログラムは、ロボット(1)の制御機能のほとんどを担うものである。データ集積システム(63)の補助の上で、それは、使用される進行の順序のタイプや、そのスピードや、結腸を膨らませたりしぼめたりするロボットの能力をコントロールする。これは、ロボット(1)の各アクチュエーター内を加圧あるいは減圧する、独立したソレノイドバルブ(solenoid valves)(61)の開閉によって行われる。ロボット(1)先端ヘッド部の操縦は、2つの直流モーター(80)によって動かされる。使用者は、ヘッド部に曲がって欲しい向きを指示するため、2軸ジョイスティック(joystick)(64)をコントロールする。対応している電位差計の電圧変化は、データ集積システム(63)により感知される。そのとき、コンピュータプログラムは、このデータを、所望の向きに一致しているエンコーダー(65)の読み取り値として処理する。アナログの電圧シグナル(an analogue voltage signal)が、モーター(80)を操作するために、データ集積システム(63)を経て送られる。そのコンピュータプログラムは、入力電圧の極性(polarity)がモーター(80)を所望の方向に向けるということを保証する。またそのプログラムは、3軸求積エンコーダー(3-axis quadrature encoder)(65)およびカウンタカード(counter card)(66)を経由して、実際のエンコーダー(65)の読み取り値を、常に読み取る。エンコーダー(65)の読み取り値が、ジョイスティック(64)によって調整された所望の読み取り値に近い範囲に入った場合、プログラムはモーター(80)に減速させ、ついには停止させるだろう。もしモーター(80)がこの範囲を通り越したら、プログラムはモーター(80)にその範囲内に戻るよう自身を調整させるだろう。モニター(80)や、光源(67)、および画像処理機(68)は、ロボットの内視鏡像を補正するのに必要な装置である。

【0014】図5は、本発明のロボット(1)を進行させるために用いる進み方の順序を例示しており、図7では、本発明に従って、ベローアクチュエーター(11)の組が相反して動かされるときに進み方(50)を示している。この具体例では、ロボット(1)は、多数の様々なタイプの進み方(50)を用いて進行し得る。図5

には、先方への進行をもたらすために、交互のベロー(11)の組は、同時に伸ばしたり縮められたりする順番をどのようになされればいいのか、ということが示されている。ロボット(1)にあるセグメント(2)の数に依存し、スピードや、重力に対する前進能力や、複雑な屈曲部における前進能力に関する最適な動作についての、多くの進み方(50)が考えられる。管状器官からロボット(1)を抜き取るために、全てのベロー(11)が収縮させられる。このとき使用者は、基部に近い側の尾状部(9)の端をつかんで、ロボット(1)を引き出す。本発明において、ロボット(1)の動きは、単に、ベローアクチュエーター(11)の押す力に依存する。圧力のかけられた空気がロボット(1)内に導入されると、ベローアクチュエーター(11)は膨張を開始し、45度の角度で結腸壁に触れるまで縦に伸びる。もし摩擦力が、接触点がすべらないだけの充分な大きさを整えられていれば、ロボット(1)を前方へ押す合力になるであろう。代わりに減圧がなされたときは、ベロー(11)は、その先端がその底部に触れるくらいにつぶれる。制御手段(60)に依存して、異なるベローアクチュエーター(11)が、異なる時に膨張したり縮めたりされ得る。このようなことによって、ロボット(1)を前方へ推進させる、多くの異なったタイプの推進の仕方(50)が生じる。

【0015】本発明において、ロボット(1)の末端部は、従来の内視鏡のように操縦される。これは、外科的器具の位置決めや、より精密な検査活動を容易にするためである。図8は、ロボット(1)の同中心シャフト(concentric shafts)を回転させるために設計されたモーター(80)のある、ギアボックスを示している。ロボット(1)の外側にあるモーター(80)に接続された多くのリードワイヤー(lead wires)は、前面の2つのセグメント(2)にはめ込まれた操縦機構(15)を動かすために用いられる。本発明に従って、4つのリードワイヤー(図示せず)が、ロボット(1)の末端部にある屈曲チューブ(図示せず)から出ている。これらワイヤーは、90度ずつ離して配されている。ロボットのヘッドを弾くように動かすためには、1つもしくは2つのワイヤーが引っ張られなければならない。するとワイヤーは反対方向に離れる。ワイヤーどおしのずれが大きければ大きいほど、屈曲角度も大きくなる。180度離れた2つのワイヤーは拮抗したペアを形成し、1つの軸での屈曲動作を担う。4つのリードワイヤーの他の端は、2つの同中心シャフトに接続されている。(180度離れた)ワイヤーの各ペアは、各シャフトに接続されている。これらのシャフトを回転させることによって、引っ張る力がワイヤーに生じ、それがロボットのヘッド部の屈曲動作をもたらす。その制御システムは、シャフトが回転するべきかどうかということを決定し、そしてどのようにして特

定の屈曲半径で特定の方向にヘッド部を操縦すればいいのかということを決定する。図8では、同中心シャフトを回転させるように特別に設計されたモーターのあるギアボックスが示されている。通常そのギアボックス(82)は、ウォームギアセット(worm gear sets)(83)と、2つの直流モーター(80)とからなる。ウォームギアセット(83)は、要求された位置で屈曲しているヘッド部を保持するための、セルフロック機構(a self locking mechanism)として働く。つまり、後戻り動作(back drive)を避けるのである。

【0016】本発明の他の好ましい具体例のなかでは、小さな直径のパイプ内で進行することのできる独立機能型ロボット(1)もまた開示されている。そのロボット(1)は、フレキシブルな複数の節付きジョイント

(3)によって互いを繋がれた、多数の堅い円筒形のセグメント(2)を含んでいる。セグメント(2)を繋ぐ節付きジョイント(3)は、ロボット(1)を、パイプ内で見られる種々の屈曲部やカーブに順応させる。セグメント(2)の末端部は、電荷接合素子型カメラ(CCDカメラ)(7)と、ロボット(1)の視界を担う光源(4)を収納している。図4によれば、各セグメント

(2)の周りの円周上に取り付けられているものは、電氣的にまたは空気圧または水圧で動かされる、複数の直線状アクチュエーター(16)である。これら直線状アクチュエーター(16)は、セグメントにある空洞の基部に近い方の端付近に取り付けられていて、ロボット

(1)から放射状に向いている末端部をもち、ロボット(1)の本体の縦軸に対して斜め横向きに配されている。直線状アクチュエーター(16)が、パイプの内壁が押すように伸ばされる時、推進力が作られる。また直線状アクチュエーター(16)は、ロボット(1)が進む際に、進行を妨げないように、セグメント(2)の中に縮めることもできる。

【0017】直線状アクチュエーター(16)は、逆方向への進行をもたらすために反対方向(図示)(18)に面するようにそれを旋回させるため、その基部に近い方の端のところで、(17)に示すように、軸回転される。制御手段(60)は、直線状アクチュエーター(16)が動くための順序をコントロールする。それぞれの直線状アクチュエーター(16)の組、あるいは個々のそれぞれの直線状アクチュエーター(16)でさえ、独立して動くことができる。本発明に従うロボット(1)は、多数の様々なタイプの進み方(50)を用いて推進させられ得る。前述のように、図5は、先方への進行をもたらすために、交互のペロー(11)の組は、同時に伸ばしたり縮められたりする順番をどのようになされる

といいのか、ということを示している。多くの進み方(50)が、スピードや、重力に対する前進能力や、複雑な屈曲部における前進能力に関する最適な動作に対して考えられる。ロボット(1)にある中央空洞(8)は、駆動源(69)と、制御手段(60)と、送信機および独立機能システムに必要な他の周辺機器を収納するために使われている。

【0018】本発明において、ロボット(1)の末端部は、検査および推進の方向決めを容易にするような操縦を可能にしている。小型モーターは、前方の2つのセグメント(2)にはめ込まれた操縦機構(15)を動かすことに用いられ、そしてその操縦機構は形状記憶合金ワイヤーにより動かされる。本発明の推進形態は、剛性または弾性の管状壁を有する長く延びたどんな通路にでも適用される。2つの具体例のみしか示されず、記述されなかったが、このロボット(1)への多くの修飾は、本発明の趣旨および範囲から外れておらず可能であるということは技術的に明らかである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に従うチューブ状ロボットの、概略的に例示された側方正面の外観である。

【図2】 本発明に従うチューブ状ロボットの、前方先端の外観である。

【図3】 図1に示すロボットの、末端セグメント部分の一部分の断面図である。

【図4】 本発明に従うロボットの、他の好ましい具体例の一部分の断面図である。

【図5】 本発明に従うロボットを推進させるのに有用である進行順序を例示している。

【図6】 本発明に従うコントロール手段のフローチャートを示している。

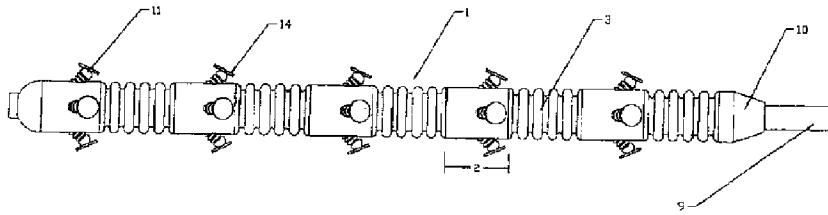
【図7】 本発明に従うペローアクチュエーターの多くの組が相反して動くときの進み方を示している。

【図8】 本発明に従うモーターの断面図を示している。

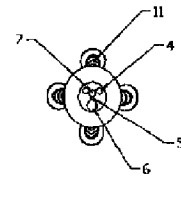
【符号の説明】

- (1) ロボット
- (2) セグメント
- (3) 節付きジョイント
- (4) 光源
- (5) 水／空気用の孔
- (6) チャンネル手段
- (7) 画像化手段
- (8) 中央空洞
- (11) 直線状アクチュエーターおよびゴム製ペロー
- (13) 圧力支流チャンネル

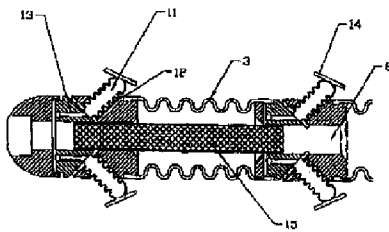
【図 1】



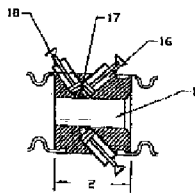
【図 2】



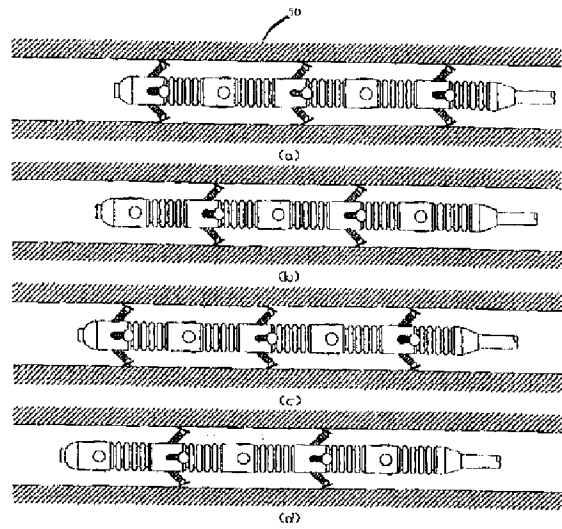
【图 3】



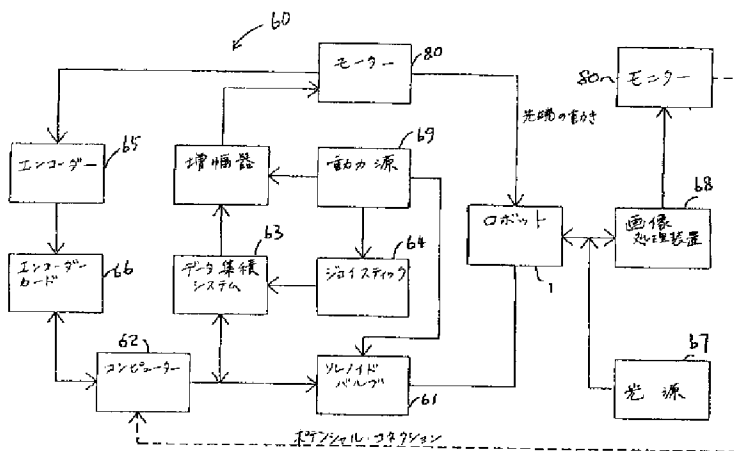
【図 4】



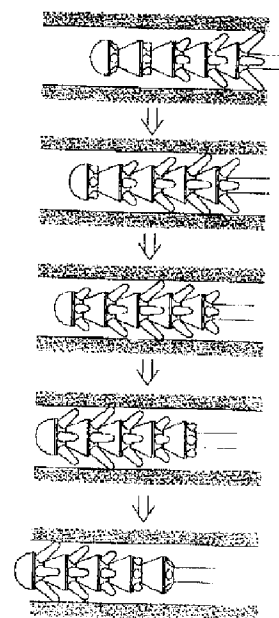
【図 5】



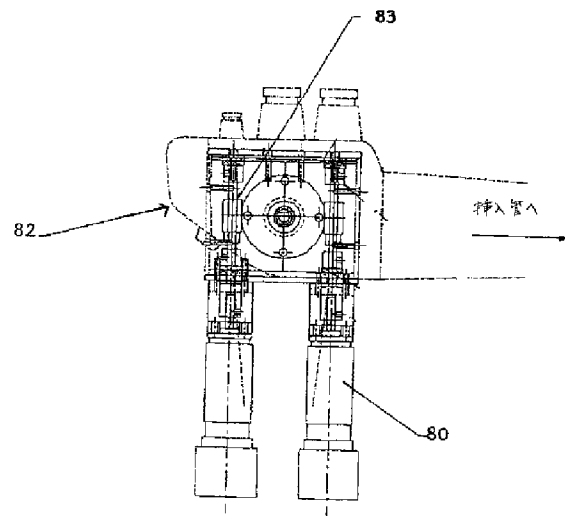
【図 6】



【図 7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 フィー, ソー ジェイ, ルイス
シンガポール国, 429526 シンガポール,
チャペル ロード 16
(72)発明者 ソウ, チョウン, フランシス
シンガポール国, 807901 シンガポール,
ミモサ ウォーク 54

F ターム(参考) 3F060 AA00 AA10 BA04 CA11 CA26
GA14 GA18 GB04 GB06 GB07
GD12 GD14 GD15 HA00 HA02
HA03 HA05 HA24 HA32 HA35
4C061 DD03 FF25 HH47 JJ01

【外国語明細書】

TITLE OF THE INVENTION

**A ROBOTIC ENDOSCOPE AND AN AUTONOMOUS PIPE ROBOT FOR
PERFORMING ENDOSCOPIC PROCEDURES**

BACKGROUND OF THE INVENTION

(a) Field of the invention

The present invention generally relates to a robotic endoscope for performing inspection and endoscopic procedures, in particular, to a self-propelled tubular robot and an autonomous pipe robot capable of advancing within an elongated passage, either a straight or bent passage, having a rigid or elastic, tubular wall.

(b) Description of the prior art

Endoscopes are useful medical device for inspecting and examining the interior of certain human organs that are otherwise inaccessible to a physician's examination. An endoscopic examination, like colonoscopy, is a procedure required very demanding techniques. It is a medical art to coax an almost two metres long flexible tube around a tortuous colon whilst causing minimal discomfort and yet performing a thorough examination.

Most experienced endoscopists use similar endoscopic techniques. Air is pumped into the colon to distend it and aid insertion of the flexible tube. The insertion force on the device must be gentle to avoid stretching the colonic wall or mesentery which can cause pain or perforation to the wall. The colonoscope is advanced, by the pushing action of the endoscopist's hand, to the caecum under direct endoscopic vision made available to the endoscopists by optical fibres or CCD cameras. The lumen should be kept always in view so that little or none of the operation is performed blind. A variety of "in-and-out" manoeuvres are used to "accordion" the colon on the colonoscope, keeping

the colonoscope as free of loops as possible. However, pushing is not the only action involved. Considerable skill is required to pull, wriggle and shake the colonoscope at the distal end. The patient's abdomen may be pressed to minimize looping and discomfort. In a difficult colon, special manoeuvres (like reducing the "alpha loop" in the sigmoid colon) are used to pass the sharply angulated sigmoid/descending colon junction. Torquing of the colonoscope is also required in such a scenario.

The detailed examination of the mucosa is performed both as the colonoscope is introduced and when it is slowly removed from the caecum. If the colonoscope is kept free of loops, the tip responds well and the examination is facilitated. This is especially true if a therapeutic procedure (such as polypectomy) is to be undertaken, because large, redundant loops of the colonoscope can make control of the tip very difficult. Sometimes, the endoscopist may "jiggle" the scope to pleat the colon onto the shaft of scope. This involves rapid up/down or side-to-side movements of the scope. The main purpose of jiggling is to shorten the part of the insertion tube which is in the body. This keeps it straight.

The basic act of manoeuvring the colonoscopic tip around the many bends of the colon requires years of practice and training. During the operation, the lumen may disappear from the surgeon's sight leading to a "red-out" when the tip is against the colonic wall or worse; a "white-out" when the tip stretches the colonic wall. When this happens, an inexperienced endoscopist may be disorientated and has difficulty looking for the lumen. Colonic perforation may consequently occur. Furthermore, abrupt movements of the scope may result in tearing of the inner wall of the colon, which may in turn lead to excessive bleeding. There are also instances when pushing in the scope does not result

in advancement of the distal end. Rather, loops are formed which may result in over distension of the colonic walls. The present colonoscope also requires the endoscopist to hold the control device with one hand leaving only one hand to push or pull the insertion tube. Too much torquing of the insertion tube may result in loops which may complicate matters further. Besides being cumbersome, holding up the control device for prolonged periods of time is tiring for the endoscopist.

The colonoscopy procedure depends very much on the skills of the endoscopist. A more experienced endoscopist will perform a more thorough, less painful operation in a shorter time than an inexperienced endoscopist. A skilled endoscopist will normally have little problems traversing the colonoscope right up to the caecum of a "normal" colon. However, there will be difficulties advancing the colonoscope through some "problematic" colons. This happens when encountering very acute or fixed bends. Further pushing of the colonoscope at this point will only distend the walls of the distal colon. Distortion of the colonic shape and profile due to previous surgery may add to this problem. A self-propelled robotic endoscope with a traversing mechanism at its distal end will solve many locomotion problems unlike the problematic pushing format of conventional colonoscopes.

In the chemical and oil industries, conducting characterization and inspection activities within piping systems is critical to decontamination, dismantlement and maintenance activities. Current technologies for inspection of large piping systems exist. However, the ability to accurately characterize and inspect small-diameter piping systems are rare. Small-diameter pipes (diameters less than 3 inches) are generally connected together to form 3-dimensional structures made up of

horizontal and vertical pipes. Inspecting of such piping systems would require a self-propelled in-pipe robot not only capable of advancing against gravity but can also traverse through acute bends. The robot's objective is to send back images of the inner walls of the pipes as it advances into the pipes. It must also be able to proceed in a desired direction when it reaches a junction with two or more alternative routes.

SUMMARY OF THE PRESENT INVENTION

Accordingly, the present invention relates to a robotic endoscope for performing endoscopic procedures in a tubular organ comprising: (a) a plurality of segments, connected together by a plurality of flexible articulated joints, having a distal end; (b) a plurality of flexible linear actuators attached, skewed sideways with respect to the longitudinal (or diametral) axis of said robot, circumferentially round each segment; (c) a central cavity running longitudinally through said robot which houses a plurality of optical fibres, a water/air hose, an instrumentation channel and a plurality of electrical wires associated with an imaging means being mounted at the distal end of the robot; and (d) a network of tributary channels for the distribution of pressure to said linear actuators.

It is an object of the present invention to provide a robotic endoscope and an autonomous pipe robot capable of advancing in an elongated passage having rigid or elastic, tubular wall, wherein a plurality of articulated joints allow the robot to conform to the different bends and curvature found in the organ of a human body.

It is yet another object of the present invention to provide a robotic endoscope and an autonomous pipe robot, wherein a plurality of flexible linear actuators are

attached circumferentially round each segment and these actuators are pressure driven by pneumatics or hydraulics.

It is another object of the present invention to provide a robotic endoscope and an autonomous pipe robot, wherein a control means is provided to control the sequence by which the linear actuators are activated.

It is another object of the present invention to provide a robotic endoscope and an autonomous pipe robot, wherein the robot is capable of advancing in pipes of small diameters.

These and other features, aspects, and advantages of the present invention will become better understood with regard to the following description, appended claims, and accompanying drawings where:

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Fig. 1 is a schematically illustrated side elevation view of the present tubular robot in accordance with the present invention;

Fig. 2 is a front end view of the present tubular robot in accordance with the present invention;

Fig. 3 is a partial section view of the distal segments of the robot shown in Fig. 1;

Fig. 4 is a partial section view of another preferred embodiment of the robot in accordance with the present invention;

Fig. 5 illustrates a gait sequence which is used to locomote the present robot in accordance with the present invention;

Fig. 6 shows a flow chart of a control means in accordance with the present invention;

Fig. 7 shows a gait in which the sets of bellow actuators, in accordance with the present invention, are activated antagonistically; and

Fig. 8 shows the sectional view of a motor in accordance with the present invention.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

Referring to Fig. 1, there is shown a tubular robot (1) capable of advancing in an elongated passage with rigid or elastic, tubular wall. The robot (1) comprises a plurality of segments (2), having a distal end, connected together by a plurality of flexible articulated joints (3). The articulated joints (3) provide the robot (1) to conform to the different bends and curvature found in the human organs. A plurality of hollow rubber bellows (11) are used to make the joints (3) each of which has three degrees of rotational freedom and certain degree of translational freedoms.

Referring to Fig. 2, the distal end of the segment (2) houses a plurality of optical fibres (not shown) for a light source (4), a water/air opening (5), an instrumentation channel (6) and an imaging device (7), such as an ultra-compact charge couple camera. The wires and tunings (not shown) associated with these devices (4, 6, & 7) run into the central cavity (8) of the robot (1). These wires and tunings exit the robot (1) bundled together as a tail (not shown) which connects to the last segment (10).

Referring to Fig. 3, attached circumferentially round each segment (2) is a plurality of flexible linear actuators (11). In accordance with the present invention, the plurality of the retractable rubber bellows (11) are used as the linear actuators. These actuators (11) are pressure driven by pneumatics or hydraulics. As the actuators (11) are not made from metals, the actuators (11) will not damage the delicate walls of the human organs. These rubber bellows (11) are attached, by proximal ends, to the cavities (12) in the segments (2). The bellows (11) are clamped or glued

to the segments (2). They are positioned skewed sideways with respect to the longitudinal axis of the body (of the robot) with their distal ends pointing radially away from the main body (of the robot). All the bellows (11) in one segment (2) are connected to the same pressure line which runs through the central cavity (8) of the main body of the robot (1) and exits via the tail (9). Pressure is distributed evenly to the bellows (11) via a plurality of the tributary pressure channels (13) in the segment (2). When high pressure, from an external source, is introduced through the channels (13), the connected bellows (11) will extend longitudinally. Conversely, when low pressure (below atmospheric pressure) is introduced, the bellows (11) will retract into the cavities (12) in the segment (2). Locomotive force is produced as the bellow (11) extends to push against the internal walls of the organ. Being flexible radially, the bellow (11) may bend towards the robot's main body when it comes into contact with the organic walls. Further extension of the bellow (11) will continue to bring about forward locomotive forces. This collapsible mechanism is a safe-guard against puncturing and perforation of the delicate walls. To prevent slippage at the point of contact, the bellow (11) may be padded as shown by (14) to increase the surface area of contact.

Fig. 6 shows a flowchart of a control means (60) which controls the sequence by which the bellows (11) are extended or retracted. Each set of bellows (11) within one segment (2) or even each individual bellow (11) may be activated independently. In accordance with the present invention, the user operates the robot (1) via a graphical user interface developed using a computer program run on a desktop PC (62). This program is responsible for most of the control functions of the robot (1). With the aid of a data acquisition system (63), it controls the type of gait sequence to be used, its speed and the robot's ability to insufflate or deflate

the colon. This is done by opening or closing independent solenoid valves (61) which allow air pressure or vacuum to pass into the respective actuators in the robot (1). The steerable distal head of the robot (1) is actuated by 2 DC motors (80). The user controls a 2-axis joystick (64) to indicate the position he wants the head to bend to. The changes in the voltages of the corresponding potentiometers are sensed by the data acquisition system (63). The computer program then processes this data into encoder (65) readings corresponding to the desired position. An analogue voltage signal is passed via the data acquisition system (63) to operate the motors (80). The computer program will ensure that the polarity of the input voltage will cause the motor (80) to turn in the desired direction. The program also constantly reads the actual encoder (65) reading via a 3-axis quadrature encoder (65) and counter card (66). When the encoder (65) reading comes into a range close to the desired reading set by the joystick (64), the program will cause the motor (80) to decelerate and finally stop. If the motor (80) overshoots this range, the program will cause the motor (80) to adjust itself back into the range. The monitor (80), the light source (67) and the image processor (68) are equipment required to retrieve the robot's endoscopic view.

Fig. 5 illustrates a gait sequence which is used to locomote the present robot (1) and Fig. 7 shows a gait (50) in which the sets of bellow actuators (11) are activated antagonistically in accordance with the present invention. In the present embodiment, the robot (1) can be made to locomote using a plurality of various types of gaits (50). As shown in FIG. 5, there is shown how alternate sets of bellows (11) are sequenced to extend and retract simultaneously to bring about forward locomotion. Depending on the number of segments (2) in the robot (1), the plurality of gaits (50) may be designed for optimum performance relating to speed, ability to advance against gravity or ability to advance through difficult bends. To

extract the robot (1) from the tubular organ, all bellows (11) are retracted. The user then pulls out the robot 1 holding onto the proximal tail (9) end. In accordance with the present invention, the movement of the robot (1) depends solely on the pushing force of the bellows actuators (11). The pressurized air is introduced into the robot (1), the bellow actuators (11) will start to inflate, growing longitudinally until it touches the colon walls at 45 degrees. If the friction is arranged to be large enough so that the point of contact does not slide, there will be a resultant force that pushes the robot (1) forward. When a vacuum is introduced instead, the bellow (11) would collapse such that their tips touch their bases. Depending on the control means (60), different bellow actuators (11) can be inflated or deflated at different times. This results in many different types of locomotive gaits (50) which propels the robot (1) forward.

In accordance with the present invention, the distal end of the robot (1) is steerable like a conventional endoscope. This is to facilitate positioning of surgical tools and more precise inspection activities. Fig. 8 illustrates the gear box with motors (80) which is designed to turn concentric shafts of the robot (1). A plurality of lead wires connected to motors (80) located outside the robot (1) may be used to activate a steering mechanism (15) embedded in the front two segments (2). In accordance with the present invention, four lead wires (not shown) exit from the bending tube (not shown) which is situated at the distal end of the robot (1). These wires are placed 90 degrees apart. To enable the robot's head to flip, one or two wires must be pulled while the wires opposite be released. The greater the displacement of the wires, the greater the bending angle. Two wires at 180 degrees apart will form an antagonistic pair and is responsible for bending movements in one axis. The other ends of the four lead wires

are connected to two concentric shafts. Each pair of wires (180 degrees apart) is connected to each shaft. By turning these shafts, pulling forces are generated on the wires which will bring about bending movements of the robot head. The control system, will determine which shaft should be turned and by how much to steer the head in a particular direction with a particular radius of curvature. As shown in Fig. 8, there is shown a gearbox with motors specially designed to turn the concentric shafts. The gearbox (82) generally consists of two worm gear sets (83) and two DC motors (80). The worm gear set (83) acts as a self locking mechanism to hold the bending head in a required position thus preventing back drive.

In another preferred embodiment of the present invention, an autonomous robot (1) capable of advancing in pipes of small diameters is also disclosed. The robot (1) comprises a plurality of rigid cylindrical segments (2) connected together by a plurality of flexible articulated joints (3). The articulated joints (3) that connect the segments (2) allow the robot (1) to conform to the different bends and curvature found in pipes. The distal end of the segment (2) houses a charge coupled camera (7) and a light source (4) responsible for the robot's (1) vision. Referring to FIG. 4, attached circumferentially round each segment (2) is a plurality of electrically or pneumatically or hydraulically driven linear actuators (16). These linear actuators (16) are attached, by proximal ends, to cavities in the segments and are positioned skewed sideways with respect to the longitudinal axis of the body of the robot (1) with their distal ends pointing radially away from the robot (1). Locomotive force is produced as the linear actuator (16) extends to push against the internal walls of the pipe. The linear actuator (16) can also be retracted into the segments (2) such that it does not hinder locomotion when the robot (1) advances.

The linear actuator (16) may be pivoted as shown in (17) at its proximal end so as to enable it to swivel to face the opposite direction (as shown in) (18) to bring about locomotion in the reversed direction.

The control means (60) controls the sequence by which the linear actuators (16) are activated. Each set of linear actuators (16) or even each individual linear actuator (16) can be activated independently. The robot (1) in accordance with the present invention can be made to locomote using a plurality of various types of gaits (50). As mentioned earlier, FIG. 5 illustrates how alternate sets of linear actuators (16) are sequenced to extend and retract simultaneously to bring about forward locomotion. The plurality of gaits (50) may be designed for optimum performance relating to speed, ability to advance against gravity or ability to advance through difficult bends. The central cavity (8) in the robot (1) is used to house a power source (69), the control means (60), transmitter and other peripherals required of an autonomous system.

According to the present invention, the distal end of the robot (1) is steerable to facilitate inspection and direction of advancement. Miniature motors may be used to activate a steering mechanism (15) embedded in the front two segments (2), and the steerable mechanism is driven by shape memory alloy wires.

The locomotion aspects of the present invention may be applied in any elongated passage having an elastic or rigid, tubular wall. Although only two embodiments have been shown and described, it would be obvious to those skilled in the art that many modifications to the present robot (1) is possible without departing from the spirit and scope

of our invention.

CLAIMS

1. A robotic endoscope for performing endoscopic procedures in a tubular organ comprising:
 - (a) a plurality of segments, connected together by a plurality of flexible articulated joints, having a distal end;
 - (b) a plurality of flexible linear actuators attached, skewed sideways with respect to the longitudinal axis and dramatically axis of said robot, circumferentially round each segment;
 - (c) a central cavity running longitudinally through said robot which houses a plurality of optical fibres, a water/air hose, an instrumentation channel and a plurality of electrical wires associated with an imaging means being mounted at the distal end of the robot; and
 - (d) a network of tributary channels for the distribution of pressure to said linear actuators.
2. The robotic endoscope of claim 1, wherein said articulated joints connecting the segments possess three passive degrees of freedom to allow the robot to conform to different curvatures.
3. The robotic endoscope of claim 1, wherein the plurality of linear actuators are rubber bellows.
4. The robotic endoscope of claim 1, wherein the linear actuators are driven by pneumatics or hydraulics.
5. The robotic endoscope of claim 1, wherein a plurality of gaits is implemented for optimum performance relating to speed, and ability to advance against gravity or ability of advance through difficult bends.
6. The robotic endoscope of claim 1, wherein the distal end of the segments is steered by lead wires connected to

an electric motors.

7. The robotic endoscope of claim 1, wherein the distal end of the segments is steered by lead wires connected to a plurality of shape memory alloy wires.

8. The robotic endoscope of claim 1 or 3, wherein the linear actuators is padded at the tip of the bellow.

9. The robotic endoscope of claim 1, wherein the imaging means is a charge couple camera.

10. The robotic endoscope of claim 1, wherein the segment is cylindrical.

11. An autonomous robot capable of advancing in pipes of small diameters comprising:

(a) a plurality of segments, connected together by a plurality of flexible articulated joints, having a distal end;

(b) a plurality of electrically (or pneumatically or hydraulically) driven linear actuators attached, skewed sideways with respect to the longitudinal axis of the robot, circumferentially round each segment;

(c) a central cavity running longitudinally through the robot which houses a power source, a control means, and a transmitter for an autonomous.

12. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein the plurality of the articulated joints connecting the segments possess three degrees of freedom to allow the robot to conform to different curvatures.

13. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein a plurality of gaits is implemented for optimum performance relating to speed, ability to advance against gravity or

ability to advance through difficult bends.

14. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein said distal end of the segments is steered by miniature motors.

15. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein said distal end of the segments is steered by shape memory alloy wires.

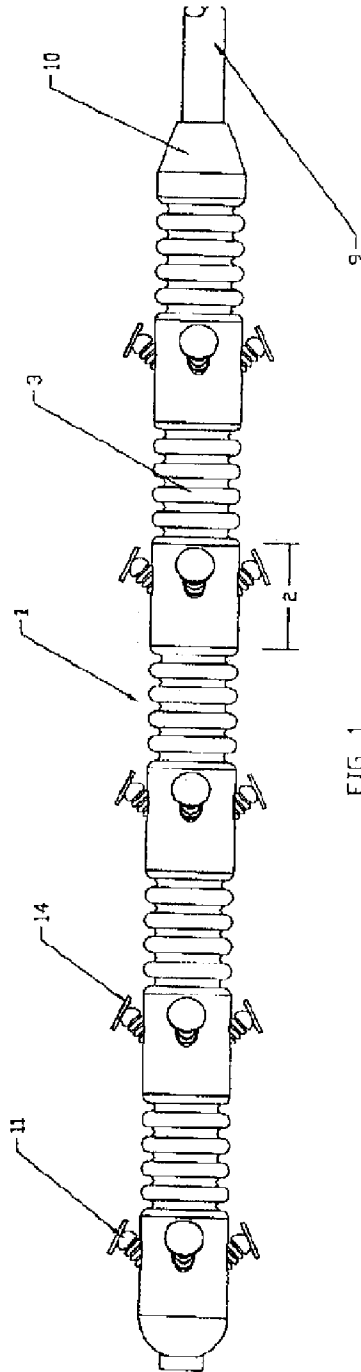
16. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein an imaging means is mounted at the distal end of the segments.

17. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein the imaging means is a charge couple camera.

18. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein the linear actuators are swivellable to opposite direction to facilitate backwards propulsion.

19. The autonomous pipe robot of claim 11, wherein the plurality of segments are rigid cylindrical shape.

(23)



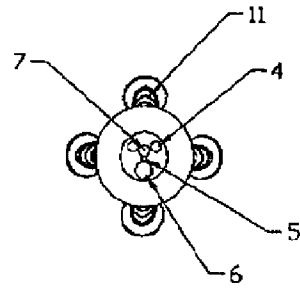


FIG. 2

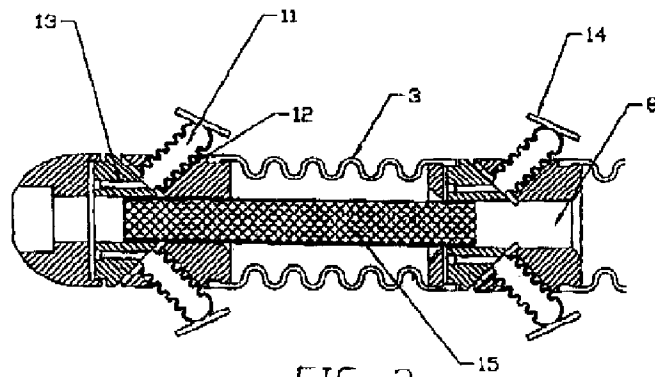


FIG. 3

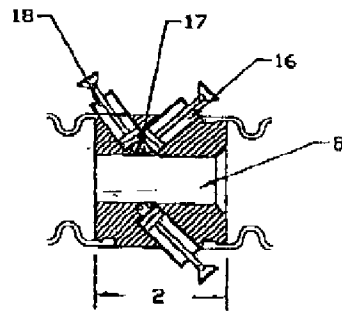


FIG. 4

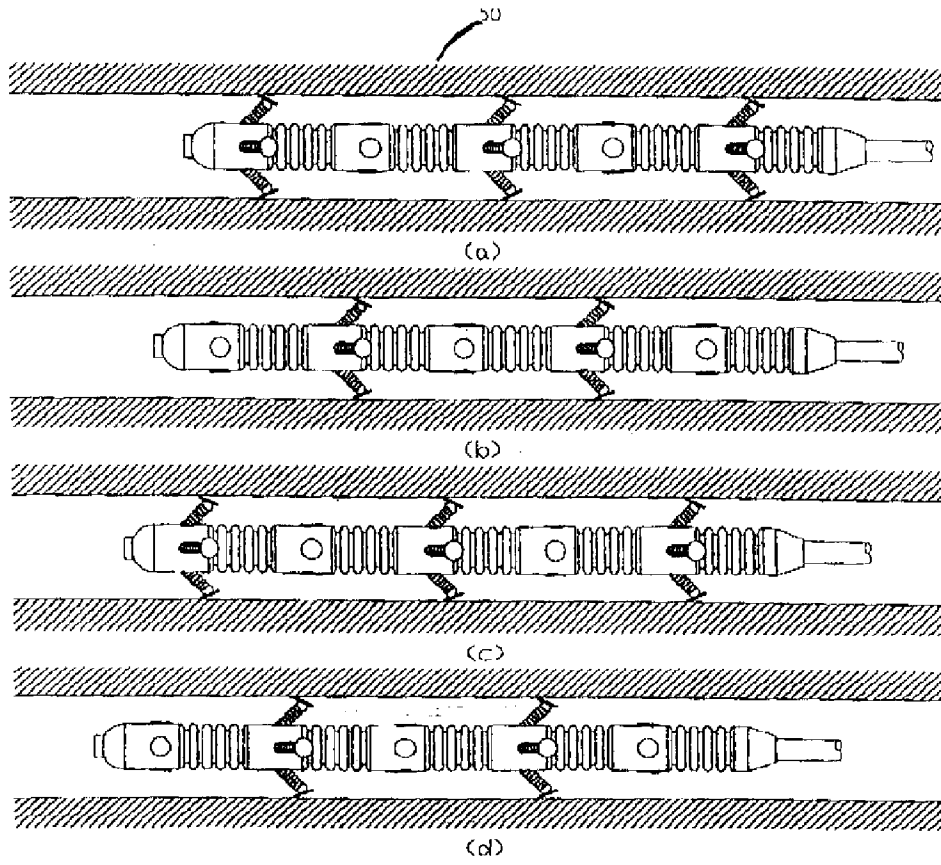


FIG. 5

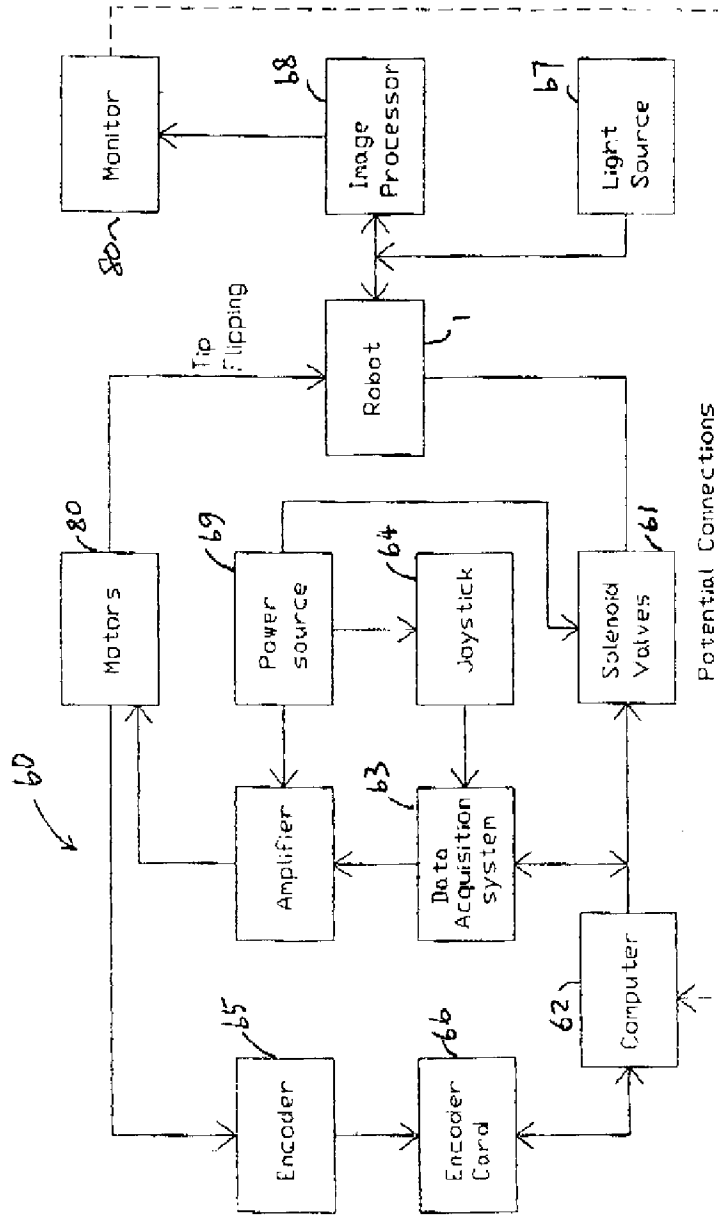


Fig. 6

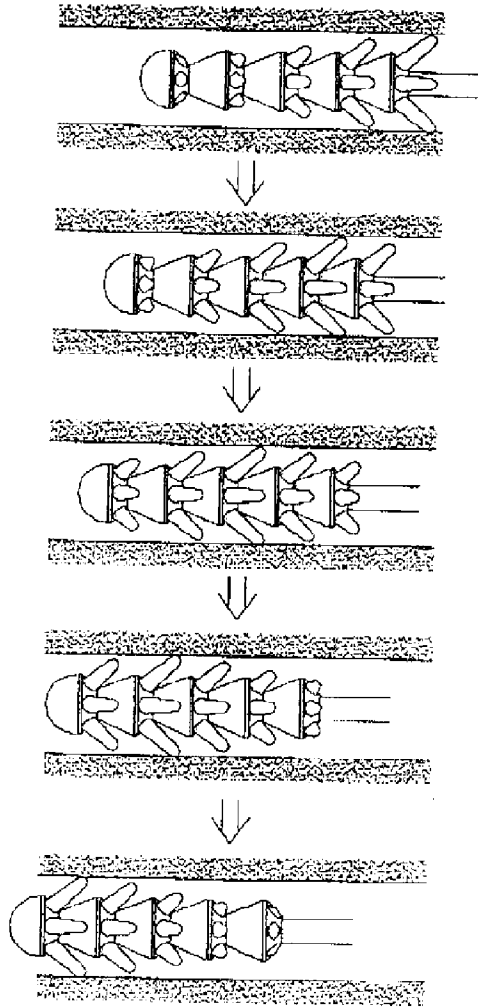


Fig. 7

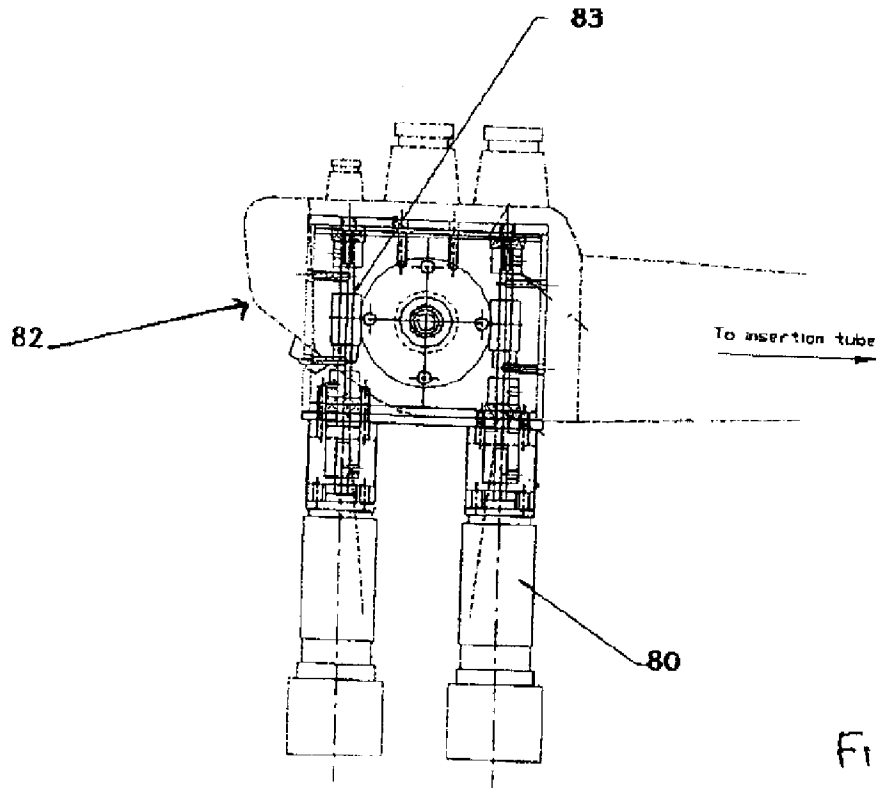


Fig 8

**A ROBOTIC ENDOSCOPE AND AN AUTONOMOUS PIPE ROBOT FOR
PERFORMING ENDOSCOPIC PROCEDURES**

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A robotic endoscope for performing endoscopic procedures in a tubular organ comprising: (a) a plurality of segments, connected together by a plurality of flexible articulated joints, having a distal end; (b) a plurality of flexible linear actuators attached, skewed sideways with respect to the longitudinal axis of said robot, circumferentially round each segment; (c) a central cavity running longitudinally through said robot which houses a plurality of optical fibres, a water/air hose, an instrumentation channel and a plurality of electrical wires associated with an imaging means being mounted at the distal end of the robot; and (d) a network of tributary channels for the distribution of pressure to said linear actuators, is disclosed. The present invention also discloses an autonomous pipe robot.